





Se agradece el financiamiento económico de la Fundación Produce Coahuila, A. C., para la realización del Proyecto de Investigación "Riego deficitario controlado para el manzano en Arteaga Coahuila", del cual se generó esta publicación





INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES FORESTALES, AGRICOLAS Y PECUARIAS
CENTRO DE INVESTIGACION REGIONAL DEL NORESTE
CAMPO EXPERIMENTAL SALTILLO

METODOLOGÍA PARA LA PROGRAMACIÓN DEL RIEGO DEFICITARIO CONTROLADO PARA MANZANO EN ARTEAGA, COAHUILA



Folleto Técnico Núm. 30	**Agosto 2007**

ISBN: 978-970-43-0213-9

SECRETARIA DE AGRICULTURA, GANADERIA, DESARROLLO RURAL, PESCA Y ALIMENTACION

ING. ALBERTO CÁRDENAS JIMÉNEZ
Secretario

ING. FRANCISCO LOPEZ TOSTADO
Subsecretario de Agricultura

ING. ANTONIO RUIZ GARCÍA
Subsecretario de Desarrollo Rural

LIC. JEFFREY MAX JONES JONES
Subsecretario de Fomento a los Agronegocios

LIC. RAMÓN CORRAL ÁVILA
Comisionado Nacional de Acuacultura y Pesca

LIC. JOSÉ DE JESUS LEVY GARCÍA
Oficial Mayor

INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES FORESTALES, AGRICOLAS Y PECUARIAS

Ph. D. PEDRO BRAJCICH GALLEGOS
Director General

Ph. D. SALVADOR FERNÁNDEZ RIVERA
Coordinador de Investigación, Innovación y Vinculación

Dr. ENRIQUE ASTENGO LOPEZ
Coordinador de Planeación y Desarrollo

LIC. MARCIAL GARCÍA MORTEO
Coordinadora de Administración y Sistemas

CENTRO DE INVESTIGACION REGIONAL DEL NORESTE

Ph. D. FRANCISCO JAVIER PADILLA RAMÍREZ
Director Regional

Ph. D. JORGE ELIZONDO BARRÓN
Director de Investigación

M.C. NICOLÁS MALDONADO MORENO
Director de Planeación y Desarrollo

C. P. JOSE CRUZ GONZÁLEZ FLORES
Director de Administración

M. C. GUSTAVO J. LARA GUAJARDO
Director de Coordinación y Vinculación en Coahuila

GOBIERNO DEL ESTADO DE COAHUILA

PROFR. HUMBERTO MOREIRA VALDES
Gobernador Constitucional del Estado

C. HÉCTOR OSCAR FERNÁNDEZ AGUIRRE
Secretario de Fomento Agropecuario

ING. HÉCTOR DE LA FUENTE RODRIGUEZ
Subsecretario Agropecuario y de Comercialización

ING. JOSÉ CARLOS DESTENAVE MEJÍA
Director de Agricultura

MVZ. ENRIQUE GARCÍA PÉREZ
Director de Ganadería

DR. HÉCTOR FRANCO LÓPEZ
Subsecretario de Medio Ambiente y Recursos Naturales de Coahuila

DELEGACION ESTATAL DE LA SAGARPA EN COAHUILA

ING. EDUARDO VILLARREAL DÁVILA
Delegado

ING. JORGE ALBERTO FLORES BERRUETO
Subdelegado Agropecuario

LIC. REYNOLD MALTOS ROMO
Subdelegado de Planeación

LIC. REYNALDO PÉREZ-NEGRÓN
Subdelegado de Administración

FUNDACION PRODUCE COAHUILA, A. C.

ING. BERNABÉ IRUZUBIETA QUEZADA
Presidente

ING. JUAN ANTONIO OSUNA CÁRDENAS
Vicepresidente

M. Sc. IGNACIO A. GONZÁLEZ CEPEDA
Presidente del Consejo Consultivo Sureste

ING. JAVIER GARCÍA NÚÑEZ
Tesorero

M. C. JORGE MONTAÑÉZ DE LEÓN
Gerente

En el proceso editorial de esta publicación colaboraron:

Comité Editorial del Campo Experimental Saltillo:

Dr. Marco Antonio Arellano García
M. C. Francisco Javier Contreras de la Reé
Ing. Eutimio de J. Cuellar Villarreal
M. C. David Castillo Quiroz
M. C. Carlos Ríos Quiroz

Revisión Técnica:

Ph. D. Jorge Elizondo Barrón
Dr. Rafael Ángel Parra Quezada

Fotografía:

M. C. Francisco Javier Contreras de la Reé

Captura Computacional:

M. C. Francisco Javier Contreras de la Reé

MAYOR INFORMACION
INIFAP
Campo Experimental Saltillo
Blvd. Vito Alessio Robles No. 2565
Col. Nazario S. Ortiz Garza
Saltillo, 25100, Coah.
Tel: (01 844) 416 20 25
Fax: (01 844) 439 19 01
E-mail: contreras.francisco@inifap.gob.mx

Dirección de Coordinación y Vinculación del
INIFAP en Coahuila
Blvd. Vito Alessio Robles No. 2565
Col. Nazario S. Ortiz Garza
Saltillo, 25100, Coah.
Tel/Fax: (01 844) 439 24 36
E-mail: lara.gustavo@inifap.gob.mx





METODOLOGÍA PARA LA PROGRAMACIÓN DEL RIEGO DEFICITARIO CONTROLADO PARA MANZANO EN ARTEAGA, COAHUILA

M. C. Francisco Javier Contreras de la Reé
Investigador del Programa de Uso y Manejo del Agua del
Campo Experimental Saltillo

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias
Centro de Investigación Regional del Noreste
Campo Experimental Saltillo
México
Agosto 2007

METODOLOGÍA PARA LA PROGRAMACIÓN DEL RIEGO DEFICITARIO CONTROLADO PARA MANZANO EN ARTEAGA, COAHUILA

Av. Progreso No. 5 Edif. Principal "C"
Col. Del Carmen Coyoacán.
Delegación Coyoacán.
C.P. 04100 México, D. F.
Tel. (0155) 54841900

Primera edición
Tiraje 500 ejemplares
Impreso en México
Clave INIFAP/CIRNE/A-404
ISBN: 978-970-43-0213-9

Esta obra se terminó de imprimir en
Agosto de 2007 en los talleres de:
Imprenta Sánchez
Nueva España 514
Fraccionamiento Urdiñola
Tel/Fax: (844) 414 61 51
Saltillo, 25020, Coah.

Folleto Técnico Núm. 30. Agosto 2007
CAMPO EXPERIMENTAL SALTILLO
Blvd. Vito Alessio Robles No. 2565
Col. Nazario S. Ortiz Garza
Saltillo, 25100, Coah.
Tel. (01 844) 416 20 25
Fax: (01 844) 439 19 01

La cita correcta de este folleto es:

Contreras de la R., F. J. 2007. Metodología para la programación del riego deficitario controlado para manzano en Arteaga, Coahuila. CIRNE. Campo Experimental Saltillo. Folleto Técnico Núm. 30. Coahuila, México. 27 p.

Raes, D., A. Sahli, J. van Looij, N.B. Mechlia, E. Persoons. 2000. Charts for guiding irrigation in real time. Irrigation and Drainage Systems 14: 343-352.

Ramírez, R.H.; D.L. Abbott y A. Benavides M. 2002. Fisiología y Manejo del Manzano. UAAAN. 1a Edición. Saltillo, México. 164 p.

Ruiz-Sánchez; M.C., A. Torrecillas; A. Pérez y R. Domingo. 2000. Regulated deficit irrigation in apricots trees. Acta Hort. 537: 759-766.

Ryugo, K. 1988. Fruit culture: Its science and art. John Wiley and sons, New York. USA. 344 p.

SAGARPA. 2003. Estadísticas del cultivo del manzano. Boletín informativo. DDR 004. CADER-Arteaga Coahuila. 6 p.

SIAP. 2006. Sistema Integral de Información Agroailimentaria y Pesquera. http://www.siap.gob.mx/ar_comagri.html (18 de agosto de 2006)

van Hooijdonk B.M.; K. Dorji; M.H. Behboudian. 2004. Responses of Pacific Rose™ apple to partial rootzone drying and deficit irrigation. Europ. J. Hort. Sci. 69(3): 104-110.

Yahya, K.A. y T.R Roper. 2004. Rootstock effects on growth, cell number, and cell size of "Gala" apples. J. Am. Soc. Hort. Sci. 129(1):37-41

to withholding irrigation, regulated déficit and tree spacing. J. Am. Soc. Hort. Sci. 114:5-19

Mpelasoka, B.S; M.H. Behboudian; J. Dixon; S.M. Neal y H.W. Caspari. 2000. Improvement of fruit quality and storage potencial of “Braeburn” apple trought deficit irrigation. J. Hort. Sci. Biotechnol. 75: 615-621.

Mpelasoka, B.S; M.H Behboudian y S.R Green 2001. Water use, yield, and fruit quality of lysimeter-ground apple trees; responses to deficit irrigation and to crop load. Irrig. Sci. 20:107-113.

Ortiz, F.P. y R.A. Parra Q. 2006. Producción de manzano bajo déficit de riego controlado (DRC) en dos sistemas de riego, en el Noroeste de Chihuahua. Folleto Científico Núm 11. CESICH-CIRNOC-INIFAP. 26 p.

Parra, Q.R. y P. Ortiz. F. 2003. Manejo del riego en manzano mediante déficit de riego controlado. Memorias del IX Simposium Internacional sobre el Manzano. Asociación de manzaneros de Cuahutémoc A.C. Cd. Cuahutémoc, Chihuahua, México. 9 p.

Quiñones, P.H.E. 1997. Necesidades hídricas de los cultivos. Manual para diseño de zonas de riego pequeñas. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Jiutepec, Morelos, México. P 13-174.

CONTENIDO

	Pág.
Introducción	1
Resultados de Investigación sobre Riego Deficitario Controlado (RDC) en México	5
Programación del Riego Deficitario Controlado	7
Momento para aplicar el RDC	7
Nivel crítico de humedad del suelo	8
Registro de datos para programar el RDC	8
Datos climáticos	9
Humedad del suelo	12
Datos fenológicos	13
Cálculo del agua por aplicar y tiempo de riego	14
Cuando regar	14
Cuanto regar	14
Operación del RDC	18
Operación del riego normal	19
Ejemplo con riego por goteo	20
Literatura citada	22

ÍNDICE DE FIGURAS

		Pág.
Figura 1.	Sensores de matriz granular (verde a 30 cm de profundidad, rojo a 60 cm), lector de sensores y sensor sin instalar.	9
Figura 2.	Tanque Evaporímetro tipo “A”.	10
Figura 3.	Pluviómetro y caseta de abrigo.	11
Figura 4.	Estadíos de la yema del manzano.	13
Figura 5.	Medidor volumétrico de agua en la línea regante.	15

ÍNDICE DE CUADROS

		Pág.
Cuadro 1.	Resultados de Investigación del RDC en Chihuahua y Coahuila.	6
Cuadro 2.	Formato bitácora para registro de datos de clima y cálculo de lámina evaporada.	12
Cuadro 3.	Limites recomendados de lecturas del sensor de matriz granular por etapas en suelos arcillosos.	15
Cuadro 4.	Coeficientes de cultivo (kc) para manzano sin cubierta vegetal.	17

Larios, C.J. G. 2004. Generación de un programa de computo para determinar índices DRIS en manzano cv. Golden Delicious en Coahuila y Nuevo León. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila, México. 117 p.

Leib, B.G.; H.W. Caspari; C.A. Redulla; P.K. Andrews y J.J Jabro. 2006. Partial rootzone drying and deficit irrigation of “Fuji” apples in semi-arid climates. Irrig. Sci. 24:85-99

Miller, D. 2006. Drougth effects on apple trees. http://ipm.osu.edu./fruit/icm27.htm#linkf (18 de agosto de 2006).

Mills, T.M; M.H. Behboudian y B.E. Clothier. 1996. Preharvest and storage quality of “Braeburn” apple fruit grown under water deficit conditions. N. Z. J. Crop Hort. Sci. 24: 159-165.

Mitchell, P.D, y D.J. Chalmers. 1982. The effect of reduced water supply on peach tree growth and yields. J. Am. Soc. Hort. Sci. 107: 853-856.

Mitchell, P.D.; P.H Jerie y D.J. Chalmers. 1984. The effects of regulated water deficits on pear tree growth, flowering, fruit growth and yield. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 109(5):604.

Mitchell, P.D; Van der Ende; P.H. Jerie y D.J Chalmers.1989. Responses of Bartlett pear

García, C. I. 1992. El riego en huertas de manzano. Memorias del V Ciclo Internacional de Conferencias sobre el cultivo del Manzano. Unión Regional Agrícola de Productores de Manzana del estado de Coahuila. Saltillo, Coahuila. p. 27-34.

González, M.A. y B.A. Hernández L. 2000. Estimación de las necesidades hídricas del tomate. TERRA Latinoamericana 18(1): 45-50.

Goodwin, I. y A.M. Boland. 2002. Scheduling deficit irrigation of fruit trees for optimizing water use efficiency. In: Deficit Irrigation Practices. Water Reports Nº 22. Food and Agriculture Organisation of the United Nations. Rome, Italy. p. 67-78.

Irving, D.E. y H. Drost. 1987. Effects of water deficit on vegetative growth, fruit growth and fruit quality in Cox´s Orange Pippin apple. J. of Hort. Sci. 62(4): 427.

Kilili, A. W.; M.H. Behboudian y T.M. Mills. 1996. Composition and quality of apples under reduced Irrigation. Sci. Hort. 67:1-11

Kirda, C. 2002. Deficit irrigation scheduling based on plant growth stages showing water stress tolerance. In: Deficit Irrigation Practices. Water Reports Nº 22. Food and Agriculture Organisation of the United Nations. Rome, Italy. p. 3-10.

METODOLOGÍA PARA LA PROGRAMACIÓN DEL RIEGO DEFICITARIO CONTROLADO PARA MANZANO EN ARTEAGA, COAHUILA

Francisco Javier Contreras de la Reé[1]

INTRODUCCIÓN

El manzano es el principal cultivo frutal del sureste del estado de Coahuila, actualmente se reportan 7305 ha, de las cuales el 54% se considera de riego (SIAP, 2006). La única fuente de abastecimiento de agua son pozos profundos.

La variedad predominante es Golden Delicious y algunos de sus mutantes, la cual ocupa entre el 60-70 % de las huertas (SAGARPA, 2003; Larios, 2004).

Uno de los principales problemas en la producción del manzano en esta región es la escasa disponibilidad del agua para riego, por lo tanto se ha incrementado el interés por mejorar su aprovechamiento.

En los últimos diez años la situación hidrológica del acuífero subterráneo ha obligado a los fruticultores a invertir en métodos y sistemas más eficientes de riego con el fin de optimizar el uso del agua disponible. Actualmente más del 90 % de las huertas comercialmente competitivas, son irrigadas con sistemas de goteo y microaspersión.

[1] M.C. Investigador del Programa de Uso y Manejo del Agua del Campo Experimental Saltillo. CIRNE-INIFAP.

Para la región, se estima que el manzano tiene requerimientos hídricos anuales entre 900-1100 mm (García, 1992) de los cuales una parte se abastecen con la precipitación ocurrida principalmente de mayo a agosto, la cual alcanza entre 250-300 mm. Considerando el desbalance hídrico entre estos conceptos, es necesario aplicar una lámina de riego anual estimada en 800 a 850 mm.

Aún cuando existen en operación sistemas de riego altamente eficientes en la aplicación del agua, es necesario utilizar como complemento estrategias de riego, con el fin de optimizar el recurso.

Una de las estrategias más exitosas ha sido el uso del Riego Deficitario Controlado (RDC), el cual fue propuesto originalmente para controlar el vigor vegetativo del durazno en huertos de alta densidad con el fin de optimizar el tamaño y la calidad del fruto. El RDC resultó ser más económico que otras prácticas para controlar el vigor natural de los árboles y además se obtuvo un considerable ahorro de agua sin afectar significativamente el tamaño del fruto ni el rendimiento total (Goodwin y Boland, 2002).

El RDC consiste en reducir o suspender la aplicación de agua de riego durante etapas fenológicas poco sensibles al estrés hídrico; es decir, eliminar riegos que tendrán poco impacto en el rendimiento y la calidad del producto cosechado (Chalmers *et al.*, 1981; Kirda, 2002).

Doorenbos,J. y W.O. Pruitt. 1977. Guidelines for predicting crop water requirements. Irrigation and drainage. Paper 24. FAO. Roma, Italia. 178 p.

Ebel, R. C.; E.L. Proebsting y M.E. Patterson. 1993. Regulated deficit irrigation may alter apple maturity, quality, and storage life. Hort. Sci. 28:141-143.

Ebel, R. C.; E.L. Proebsting y R.G. Evans. 1995. Deficit irrigation to control vegetative growth in apple and monitoring fruit growth to schedule irrigation. Hort. Sci. 30:1229-1232.

Ebel, R. C.; E.L. Proebsting y R.G. Evans. 2001. Apple tree and fruit responses to early termination of irrigation in a semi-arid environment. Hort. Sci. 36:1197-1201.

English, M.J.; J.T. Musih y V.V Murty. 1990. Deficit Irrigation. *In*: G.J. Hoffman, T.A. Howell y K.H. Solomon (Ed) Management of farm irrigation systems, ASAE, St. Joseph, MI. p. 631-655.

Girona, G.J. 2002. Requerimientos hídricos del manzano, manejo y programación del riego. Memorias del VIII Simposium internacional sobre el manzano. Asociación de manzaneros de Cuahutémoc, A.C. Cd. Cuahutémoc, Chihuahua. 10 p.

Se recomienda confirmar, 12-18 horas después de cada riego, que la humedad del suelo registrada por los sensores se mantenga dentro de los límites recomendados.

Literatura Citada

Amado, P. A.; R. Parra Q. y P. Ortiz. F. 2002. Producción de manzano bajo déficit de riego controlado en Guerrero Chihuahua. Memorias del XXXI Congreso de la Ciencia del Suelo. Torreón, Coahuila. 1 p.

Contreras de la R. F. J. 2006. Riego por goteo para el manzano semienano en Arteaga, Coahuila. CIRNE. Campo Experimental Saltillo. Desplegable para productores Num. 3. 2 p.

Chalmers, D.J.; P.D. Mitchell y L.V. Heek. 1981. Control of peach tree growth and productivity by regulated water supply, tree density, and summer pruning. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 106 (3): 307-312.

Chalmers, D.J.; G. Burge; P.H. Jerie y P.D. Mitchell. 1986. The mechanism of “Bartlett” pear fruit and vegetative growth by irrigation withholding and regulated deficit irrigation. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 111(6): 904-907.

Chapman, P.J. y G.A. Catlin. 1976. Growth stages in fruit trees from dormant to fruit set. N.Y. Food and Life Sci. Bull. Nº 58. Cornell, University. USA. 11 p.

El tamaño de las manzanas está determinado por la combinación de número y tamaño de las células, aunque esta influido por una serie de factores como: la relación fruto-hojas, presencia de luz dentro del árbol, temperatura ambiental, podas, características genéticas de variedad y portainjerto, riego y nutrición, entre otros (Yahya y Roper, 2004).

Después de floración completa, el crecimiento del fruto pasa por tres etapas: 1) el fruto crece principalmente con base en división celular, aunque también se presenta alargamiento celular; 2) el fruto crece por división y alargamiento celular y 3) crece por alargamiento celular (Ryugo, 1988). Durante la primera etapa, que dura aproximadamente 6 a 8 semanas después de floración, ocurre la traslocación de asimilados o materia seca que el árbol almacenó durante el ciclo anterior en tallo y raíces; por lo tanto, el estrés hídrico en esta etapa no afecta la producción, ya que el proceso esta identificado como poco sensible a la falta de agua, lo cual representa una oportunidad para utilizar la estrategia del RDC.

Posteriormente se presenta la expansión o alargamiento de las células que se extiende hasta unos días antes de cosecha. Durante esta etapa el abastecimiento de humedad es determinante para incrementar el tamaño y peso del fruto. Los parámetros de calidad del fruto como firmeza y sólidos solubles, también se ven afectados por el estrés hídrico durante esta última etapa y, sus valores se reducen a

mayor humedad (Irving y Drost, 1987; Kilili *et al*., 1996; Ramírez *et al*., 2002; Miller, 2006).

El uso de la estrategia de RDC puede generar un importante ahorro de agua, reducir los excesos de vigor vegetativo, reducir la necesidad de poda y minimizar las pérdidas de nutrientes por fertirrigación; los árboles pueden ser plantados a menores distancias, aprovechando mejor el terreno. El RDC es considerado como una estrategia útil en áreas semiáridas donde el recurso hídrico es limitado (English *et al*., 1990; Ruiz *et al*., 2000).

El control del vigor vegetativo en huertas de alta densidad resulta crítico debido a que el sombreado interno del árbol genera condiciones que afectan la retención, el tamaño y el color de los frutos, así como la formación de yemas productivas del próximo ciclo (Chalmers *et al*., 1986).

Los antecedentes de investigación sobre el RDC, en frutales como manzano, pera y durazno, indican que mientras el estrés hídrico se aplique durante la etapa de lento crecimiento del fruto es posible controlar el vigor vegetativo excesivo manteniendo e incluso incrementando los rendimientos (Mitchell *et al*., 1989; Mills *et al*., 1996; van Hooijdonk *et al*., 2004).

En diferentes reportes de investigación a nivel mundial, la aplicación del RDC ha mejorado la eficiencia en el uso del agua o eficiencia de producción, ahorrando hasta un 61 % en durazno, 57 % en pera, 23-29 % en

Er = 0.93
Sa = 2.4 m
Dc = 2.55 m

ET = Le X kc X kp = 12.14 mm

Lr = (ET – Pe) ÷ Er
Lr = 12.15 ÷ 0.93 = 13.06 mm
Ar = Sa X Dc = 6.12 m^2
Laa = Lr X Ar = 79.93 litros por árbol

La conversión anterior resulta en litros directamente, considerando las unidades utilizadas.

Tr = Laa ÷ (Gg X Ng)

Laa = 79.93 L por árbol
Gg = 4 L h^{-1}
Ng = 3 goteros por árbol

Por lo tanto: Tr = 6.7 h

Período de aplicación del RDC:

Para realizar los cálculos durante este período, la ET resulta como sigue:

ET = Le X kc X kp X k_{RDC}

NOTA: La lluvia observada como ejemplo en el Cuadro 2, no se considera efectiva con fines de riego, según la ecuación Pe = (Pp-10) X 0.8 (Quiñones, 1997). Datos de Pp y Pe en mm.

5- Repetir los pasos 2-5, hasta el término de la etapa de crecimiento del fruto.

Es conveniente reducir o suspender el riego 5 a 7 días antes de cosecha, con el fin de obtener fruta de mejor calidad, así también, para prevenir encharcamientos debido a la presencia de lluvias en la época de cosecha.

Durante el período de poscosecha a caída de hojas, la humedad existente en el perfil es considerada como "residual" y corresponde a la aportación de las lluvias de verano y a los riegos. Se recomienda aplicar riegos durante este período solamente con fines de nutrición postcosecha, asimismo para una mejor absorción del zinc, el cual es utilizado por algunos fruticultores para acelerar la caída de hojas durante octubre y noviembre.

EJEMPLO CON RIEGO POR GOTEO

Utilizando los datos del ejemplo en el Cuadro 2, y considerando que el sensor indicó la lectura límite para aplicar el riego (Cuadro 3), se presenta a continuación un ejemplo de cálculo del programa de riego con goteo:

Datos:
Fecha del último riego: 01 de junio.
Fecha de lectura límite del sensor: 03 de junio.
Fecha del siguiente riego: 04 de junio.
Le = 13.8 mm
kc = 1.1 (Cuadro 4, tercera etapa)
kp = 0.8
Pe = 0

manzanas y un 25 % en olivos, sin afectar significativamente la producción (Mitchell y Chalmers, 1982; Mitchell *et al*., 1984; Leib *et al*., 2006).

Para complementar las estrategias de ahorro de agua, como es el caso del RDC, es importante el uso de programas de riego basados en la demanda evapotraspirativa del árbol, para determinar lámina y frecuencia de riego que eviten excesos y déficit de humedad, según la etapa fenológica del cultivo. Para el manejo integral del agua, es recomendable el uso de sensores que permitan monitorear los umbrales del potencial hídrico en el suelo (Raes *et al*., 2000; Girona, 2002).

RESULTADOS DE INVESTIGACIÓN SOBRE EL RDC EN MÉXICO

En estudios experimentales sobre el RDC y programación de riego con base en clima en manzano, desarrollados en los estados de Chihuahua y Coahuila, se han observado ahorros del 41al 54 % en el volumen de agua aplicado a árboles de diferente variedad, portainjerto y edad, en comparación al criterio de riego del productor.

En el Cuadro 1, se observan resultados de tratamientos que tuvieron suspensión o reducción de riegos desde floración hasta 50-55 días después, en las localidades de Guerrero y Cuahutémoc, Chihuahua y en Arteaga Coahuila. (Amado *et al*., 2002; Parra y Ortiz, 2003; Ortiz y Parra, 2006).

Para el caso de Guerrero, Chih., los árboles experimentales fueron de 15 años de edad, variedad Golden Delicious/MM-106, plantados a 4x2m, se regaron con goteo. En Cuahutémoc Chih., se utilizaron árboles de 20 años de edad, de la variedad Top Red Delicious/Franco, a 5x4m; en ambos huertos se regó con goteo.

Cuadro 1. Resultados de Investigación del RDC en Chihuahua y Coahuila (Ortiz y Parra, 2006).

Trata miento	Ahorro (%)	Rendimiento (kg/árbol)	Fruto		EP (kg/m^3)	Lr (cm)
			Ø (cm)	peso (g)		
Guerrero, Chihuahua 2004[1]						
RDC	54	35.2	6.0	136a	8.1	54
Testigo	0	32.3	5.7	115b	3.4	117
Cd. Cuahutémoc, Chihuahua 2004[1]						
RDC	41	29.3	5.2	124	2.3	64
Testigo	0	19.7	5.7	135	0.9	108
Arteaga, Coahuila 2006 [1]						
RDC	51	23.7	6.8	131	7.1	40
Testigo	0	25.2	7.1	135	3.7	83
Promedio						
RDC	48	30.7	6.0	130	5.8	53
Testigo	0	25.7	6.2	128	2.7	102

EP= Eficiencia de producción; Lr= lámina de riego.
[1](Tuckey, ≤ 0.05). Analizado para cada columna y localidad.

La parcela experimental de Arteaga, Coahuila, se estableció en árboles de 10 años de edad, variedad Golden Delicious/MM-106, plantados a 5X3 m con riego por goteo.

Como lo indican los resultados de Ebel *et al*. (1993, 1995 y 2001); Mpelasoka *et al*. (2000 y 2001) y Leib *et al*., 2006, la reducción en el diámetro final del fruto es uno de los efectos más negativos del RDC en manzanas, aunque

5- Regar de nuevo cuando la lectura del sensor superficial indique el límite indicado.

6- Estimar el volumen y tiempo de riego entre intervalos de riego, como se explicó anteriormente. Considerando que durante esta etapa fenológica se puede ahorrar agua, se recomienda multiplicar la ET diaria por un coeficiente de RDC: k_{RDC}= 0.6, para reducir el coeficiente de cultivo utilizado (kc=0.95).

7- Repetir los pasos 3 al 7, durante la etapa de aplicación del RDC.

Operación del Riego Normal.

Una vez terminado el período de aplicación del RDC, se iniciarán los riegos normales.

1- Regar hasta humedecer 60 cm de profundidad.

2- Medir y registrar la lectura del sensor 12-18 h después del riego; el sensor profundo debe registrar 25-40 cb, de no ser así, aplicar más agua. No considerar la lectura del sensor superficial.

3- Volver a regar cuando el sensor superficial indique la lectura limite indicada en el Cuadro 3, para la cuarta etapa (45-50 cb).

4- Medir la evaporación entre intervalos de riego, para estimar el volumen de agua por aplicar y el tiempo de riego.

Finalmente, se calcula, en horas, el Tiempo de riego (Tr) necesario para aplicar la cantidad de agua calculada:

$$Tr = Laa \div (Gg \times Ng)$$

Donde: Gg = gasto del gotero (L h^{-1}).
Ng = número de goteros por árbol.

Operación del RDC.

Para regar durante la aplicación de la estrategia del Riego deficitario controlado (RDC), (50-55 días después de completa floración), se recomienda:

1- Iniciar el periodo del RDC con el perfil de suelo húmedo en los primeros 60 cm, para lo cual se sugiere aplicar un riego de establecimiento a capacidad de campo.

2- Medir y registrar la lectura del sensor profundo 12-18 h después del riego de establecimiento. Una lectura de 55-60 cb en el sensor superficial, es conveniente para iniciar la aplicación del RDC.

3- Los riegos subsecuentes o de auxilio, se aplicarán de acuerdo al Cuadro 3, utilizando los límites indicados en la tercera etapa (55-70 cb).

4- Confirmar la presencia de humedad en el sensor superficial después del riego. Un registro de 10-15 cb a 12-18 h del riego, es adecuado para evitar sobreriego.

los resultados del Cuadro 1, no reportan diferencia estadística ($p \leq 0.05$) para esta variable. Aunque para peso del fruto, si se observa diferencia estadística para el caso de Guerrero, Chihuahua.

Cabe aclarar que el criterio para la programación del riego, para obtener los resultados experimentales del Cuadro 1, se incluyó el monitoreo de humedad del suelo, el uso de la evaporación (medida en el tanque Evaporímetro tipo “A”), la precipitación ocurrida en el lugar y coeficientes de cultivo. Como se puede observar, los resultados indican que utilizando esta tecnología es posible ahorrar agua sin afectar significativamente calidad y rendimiento.

PROGRAMACIÓN DEL RIEGO DEFICITARIO CONTROLADO

La programación del riego utilizando la estrategia del RDC, involucra la definición del momento del riego, el nivel crítico de humedad del suelo y el registro de datos actuales de clima, humedad del suelo y fenología.

Momento para aplicar el RDC.

Como se mencionó anteriormente, el principio básico para el uso del RDC es aplicarlo durante los primeros 50-55 días después de completa floración, considerando que durante esta etapa, las células se encuentran en el proceso de multiplicación y el déficit hídrico provocado por la suspensión o

reducción del riego no afecta significativamente la producción. Por tal motivo, es recomendable registrar cada año para la huerta de interés las etapas fenológicas de la brotación de las yemas, con el fin de establecer el momento adecuado para la implementación del RDC, ya que existe una influencia importante por efecto de variedad, edad del árbol, portainjerto, manejo agronómico de la huerta, tipo de suelo y clima del año, entre otros.

Para el caso del experimento desarrollado en Arteaga, el período de aplicación del RDC varió en función de la fecha de ocurrencia de la etapa fenológica definida como: "completa floración". Esta etapa se presentó el 28 de marzo, 10 de abril y 4 de abril en los ciclos: 2004, 2005 y 2006 respectivamente.

Nivel crítico de humedad del suelo.

Durante el período de aplicación del RDC, los riegos pueden suspenderse o reducirse con el fin de obtener un ahorro de agua. La recomendación es que antes de iniciar el RDC el perfil de control de humedad del suelo se encuentre a capacidad de campo. Es conveniente evitar un déficit hídrico extremo en la zona de raíces, para lo cual se recomienda instalar sensores de humedad (Figura 1) y seguir las instrucciones de "operación del riego deficitario controlado" que se indican más adelante.

Registro de datos para la programación del RDC.

ET = Le X kc X kp

Donde: Le = Lámina evaporada (mm)
kc = coeficiente del cultivo
kp = coeficiente del tanque evaporímetro.

Le, se calcula con ayuda del Cuadro 2; kc: es variable dependiendo de la etapa fenológica del árbol (Cuadro 4); kp: se determina por las condiciones ambientales que rodean al tanque tipo "A", para las condiciones de la región, se acepta un valor de 0.8.

Cuadro 4. Coeficientes de cultivo (kc) para manzano sin cubierta vegetal[1].

ETAPA	Coeficiente (kc)
Postcosecha a caída de hojas	0.70
Dormancia	0.50
Brotación a 50-55 días después de completa floración	0.95
Crecimiento del fruto a cosecha	1.10

[1](Adaptado de: Doorenbos y Pruitt, 1977)

El segundo paso, consiste en calcular los litros de agua por árbol (Laa):

Laa = Lr X Ar

Donde: Lr = lámina de riego calculada (mm)
Ar = área de riego (m^2):

Ar = Sa X Dc

Donde: Sa = separación entre árboles (m)
Dc = diámetro de copa del árbol (m).

NOTA: Las indicaciones anteriores son válidas para suelos arcillosos, profundos y de buen drenaje. Para otro tipo suelo solicitar información. La lectura indicada para la etapa postcosecha-caída de hojas, no significa en este caso, un límite para riego, ya que durante este período existe una reducida demanda hídrica y la necesidad de riego se limita a mantener el suelo húmedo para realizar y aprovechar la nutrición postcosecha.

Es conveniente aclarar que la precipitación diaria registrada (Pp), se utiliza primeramente para el cálculo de la lámina evaporada, como se indica en el mismo cuadro. Sin embargo, y con fines de ajuste de la lámina de riego se utiliza el término “precipitación efectiva” (Pe), el cual corresponde a la parte de la “Pp” que por su magnitud, es considerada útil para complementar el riego, restándose de la lámina de riego calculada.

La precipitación efectiva (Pe) se calcula con la precipitación diaria ocurrida (Pp) utilizando la siguiente ecuación:

Pe = (Pp-10) X 0.8 (Quiñones, 1997).
Datos de Pp y Pe en mm.

El primer paso para determinar el cuanto regar, es el cálculo de la lámina de riego (Lr):

Lr = (ET – Pe) ÷ Er

Donde: ET = evapotranspiración (mm)
Pe = precipitación efectiva (mm)
Er = eficiencia del sistema de riego.

La ET, se calcula como sigue:

Para operar el riego durante todo el ciclo del cultivo, es fundamental el registro de datos climáticos, de humedad del suelo y fenológicos, para lo cual se recomienda lo siguiente:



Figura 1. Sensores de matriz granular (verde a 30 cm de profundidad, rojo a 60 cm), lector de sensores y sensor sin instalar.

Datos climáticos.- Es necesario instalar un tanque Evaporímetro tipo “A” y un pluviómetro en un sitio cercano a la huerta; se recomienda disponer de un lugar despejado libre de obstáculos que puedan interferir en las mediciones (árboles, construcciones, cerros, etc.) en al menos 15 m de radio. El tanque Evaporímetro tipo “A” (Figura 2), es un tanque cilíndrico de 120.7 cm de diámetro y 25.5 cm de altura, fabricado en lámina de acero galvanizado o en fibra de vidrio. Se coloca y se nivela sobre una tarima de madera a 15 cm de elevación del suelo. En el interior del tanque se pueden marcar

dos líneas, una color amarillo a 5 cm y otra color rojo a 15 cm del borde, la marca amarilla indica hasta donde llenar el tanque y la roja, el nivel permitido como límite para rellenarlo. Para registrar la altura del espejo de agua se utiliza un tornillo micrométrico o una regla graduada. El dato diario registrado se anota en el formato bitácora (Cuadro 2), para posteriormente realizar los cálculos necesarios para determinar la lámina evaporada entre lecturas. La técnica del tanque es reconocida ampliamente como la manera más práctica, económica y eficiente de estimar la evapotraspiración o necesidades hídricas de un cultivo (González y Hernández, 2000).



Figura 2. Tanque Evaporímetro tipo “A”.

El pluviómetro se coloca cerca del tanque evaporímetro a una altura de 1-1.5 m sobre el suelo, como se indica en la Figura 3, la precipitación se registra diariamente y se anota en el formato bitácora propuesta.

instalados cerca de la huerta. En el Cuadro 2, se muestra como ejemplo, datos registrados diariamente de evaporación y precipitación, los cuales son la base para el cálculo del cuanto regar.



Figura 5. Medidor volumétrico de agua en la línea regante.

Cuadro 3. Limites recomendados de lecturas del sensor de matriz granular por etapas en suelos arcillosos (Contreras, 2006).

ETAPA	LECTURA DEL SENSOR (centibar) Sensor Superficial 30 ó 40 cm
Postcosecha a caída de hojas	40-60
Dormancia	85-100
Brotación a 50-55 días después de completa floración	55-70
Crecimiento del fruto	45-50

Considerando una huerta con árboles homogéneos en cuanto a edad, portainjerto, variedad y vigor, se pueden seleccionar uno o dos árboles por unidad de riego.

Utilizando los árboles etiquetados se pueden seleccionar de 10 a 15 frutos por árbol para registrar semanalmente su diámetro ecuatorial.

La completa floración (para iniciar el conteo para la aplicación del RDC), se define cuando el 50% de las flores están abiertas.

Es opcional, pero recomendable, el uso de un medidor volumétrico (Figura 5), el cual puede instalarse al inicio de la línea regante de una unidad de riego representativa. El volumen registrado por el medidor, dividido entre el número de árboles de la línea, estimará los litros de agua aplicados por árbol en cada riego y el total anual.

Cálculo del agua por aplicar y el tiempo de riego.

Cuando regar.- Para determinar el cuando regar se utiliza el registro de lectura de los sensores de humedad instalados dentro de la unidad de riego. Una vez que la lectura se aproxima a los límites establecidos en el Cuadro 3, se toma la decisión de aplicar el próximo riego.

Cuanto regar.- Para determinar las necesidades hídricas del árbol se utilizan los datos del tanque tipo "A" y del pluviómetro

Para medir las condiciones de temperatura durante el año, se recomienda colocar una caseta de abrigo (Figura 3), dentro de la cual se coloca un termómetro de máximas y mínimas.



Figura 3. Pluviómetro y caseta de abrigo.

El dato debe registrarse diariamente en el formato bitácora. Aunque la temperatura no se utiliza con fines de riego, es importante medirla para estimar horas frío o unidades calor, que son datos de gran utilidad para determinar la realización de otras actividades del cultivo, como el control de plagas, enfermedades y aplicación de compensadores de frío.

Los instrumentos recomendados, tienen un precio accesible y si se operan debidamente permitirán mejorar significativamente la optimización en el uso y manejo del riego. El registro anual histórico de estos datos tomados en lugares cercanos o dentro de la huerta,

permitirán caracterizar las condiciones climáticas particulares y constituyen un registro histórico para complementar la toma de decisión en actividades futuras de la huerta.

Cuadro 2. Formato bitácora para registro de datos de clima y cálculo de lámina evaporada.

Predio: LA PALMA Mes: JUNIO Año: 2006

Día	TM	Tm	Lectura Tanque (mm)	Pp	Le	Pe
1	26	18	149.0	2.1	4.3	0
2	24	17	146.8	3.2	4.6	0
3	28	20	145.4	0	4.9	0
4	30	20	140.5			
n	-	-	-			

TM,Tm= temperaturas máxima y mínima (ºC); Ev= evaporación (mm); Pp= precipitación (mm); Pe= precipitación efectiva; Le= Lámina evaporada (mm)

Humedad del suelo.- Se requieren datos de humedad contenida en el suelo a la profundidad donde se encuentre al menos el 80% del sistema radicular con características de absorción de agua y nutrientes. A reserva de realizar un análisis de densidad radicular para determinar la profundidad correcta dependiendo de la edad del árbol, portainjerto y tipo de suelo, se ofrece a continuación una guía para la instalación de sensores, que permitan estimar la cantidad de humedad existente.

Se recomienda instalar estratégicamente, por unidad de riego, un par de sensores de humedad de matriz granular (Figura 1). Para suelos profundos y sin presencia de capas duras en el subsuelo, los sensores se pueden

instalar a 30 y 60 cm de profundidad para portainjertos semienanos como el MM-106 y EMLA-7; y a 40 y 70 cm, para portainjertos mas vigorosos como el MM-109 y estándar (Contreras, 2006).

Datos fenológicos.- Para determinar el comportamiento de la brotación y floración, es necesario etiquetar durante el mes de enero, al menos cinco ramas de dos y tres años de edad por árbol, con el fin de observar y registrar la aparición de los principales estadíos florales de las yemas (Figura 4): dormancia, punta plateada, punta verde, punta rosa, completa floración y pétalo caído (Chapman y Catlin, 1976).

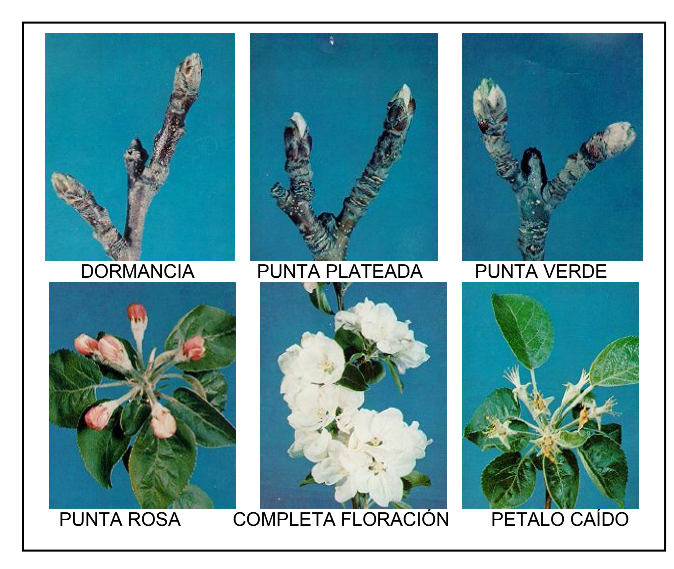


Figura 4. Estadios de la yema del manzano.

Las ramas deben seleccionarse con orientación, ángulo y altura similares.